

Desain dan Komparasi Kontrol Kecepatan Motor DC

Safah Tasya Aprilyani¹, Irianto Irianto², Epyk Sunarno³

Program Studi Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya¹

Program Studi Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya²

Program Studi Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya³

*safahapriya@gmail.com¹, irianto@pens.ac.id², epyk@pens.ac.id³

ABSTRACT

The use of control is very necessary for regulating DC motor speed. In DC motor speed regulation, one type of control used is Proportional Integral (PI) control. The 4 types of methods for PI control used are the Ziegler Nichole method, Chien Servo 1, Chien Regulator 1, and analytical calculations that have been obtained from existing data. However, the control with PI 4, the method used as a comparison, has a stable speed response time that tends to be slow both from the value of the settling time, rise time, and steady-state. Therefore, the 4 PI control methods were compared with the use of fuzzy control. In comparing the 4 PI control methods and fuzzy control, there are several parameters as a comparison, namely maximum overshoot, steady-state, rise time, and settling time. The result of this comparison is that fuzzy control can produce better performance when compared to the 4 methods of PI control. Fuzzy control has a rise time value of 0.015 seconds, settling time value of 0.025 seconds with a speed of 2900 rpm, and a steady-state error of 3.33% without overshoot and oscillation.

Keywords : Buck Converter, DC Motor, DC Motor Speed, Fuzzy Logic Control

INTISARI

Penggunaan kontrol sangat diperlukan dalam pengaturan kecepatan motor DC. Dalam pengaturan kecepatan motor DC, salah satu jenis kontrol yang digunakan adalah kontrol Proportional Integral (PI). Untuk 4 jenis metode pada kontrol PI yang digunakan adalah metode Ziegler Nichole, Chien Servo 1, Chien Regulator 1 dan perhitungan secara analitik yang telah diperoleh dari data yang sudah ada. Namun kontrol dengan PI 4 metode yang digunakan sebagai pembandingan memiliki waktu respon kecepatan saat stabil cenderung lambat baik dari nilai *settling time*, *rise time* dan *steady state*. Maka dari itu dilakukan komparasi antara 4 metode kontrol PI dengan penggunaan kontrol *fuzzy*. Dalam membandingkan antara 4 metode kontrol PI dan kontrol *fuzzy* terdapat beberapa parameter sebagai perbandingan yaitu *maximum overshoot*, *steady state*, *rise time* dan *settling time*. Hasil dari perbandingan tersebut adalah kontrol *fuzzy* dapat menghasilkan performa lebih baik jika dibandingkan dengan 4 metode pada kontrol PI. Kontrol *fuzzy* memiliki nilai *rise time* sebesar 0,015 detik, nilai *settling time* sebesar 0,025 detik dengan kecepatan sebesar 2900 rpm serta *error steady state* sebesar 3,33% tanpa adanya *overshoot* dan osilasi.

Kata kunci: Kecepatan Motor, Kontrol Fuzzy, Konverter Buck, Motor DC

I. PENDAHULUAN

Penggunaan kontrol sangat diperlukan dalam mengatur kecepatan motor. Kecepatan motor DC pada skala kecil harus dikontrol agar kecepatan konstan walaupun beban yang digunakan berubah-ubah. Kontrol PI merupakan kontrol yang sangat dikenal di ranah industri. Kontrol PI termasuk dalam kontrol yang menggunakan perhitungan secara konvensional. Dalam penggunaan kontrol ini, diperlukan pengaturan nilai K_p dan K_i secara *manual* dan memakan waktu kontrol yang cukup lama. Pada kontrol PI, untuk mencapai

kondisi kestabilan dari sistem kontrol membutuhkan *settling time* yang cenderung cukup lama sampai kontrol dalam keadaan konstan. Oleh karena itu untuk pengaturan yang lebih efisien, dapat menggunakan kontrol *fuzzy*. Penggunaan kontrol *fuzzy* termasuk ke dalam kategori *smart control*. Sehingga kecepatan motor akan dapat terkontrol secara otomatis menggunakan metode logika *fuzzy*.

Dengan adanya kontrol secara konvensional maupun secara smart kontrol, kedua kontrol tersebut dapat dilihat perbandingannya. Dalam membandingkan kedua kontrol tersebut, dapat memperhatikan beberapa parameter sebagai perbandingan yaitu *maximum overshoot*, *steady state*, *rise time* dan *settling time*. Untuk metode yang digunakan sebagai pembandingan dalam kontrol PI adalah 4 jenis metode, yaitu metode Ziegler Nichole, Chien Servo 1, Chien Regulator 1 dan perhitungan secara analitik yang telah diperoleh data performa sebelumnya.

Dengan adanya kontrol *fuzzy* sebagai pembandingan sistem kontrol PI, hasil kontrol yang diharapkan pada kontrol *fuzzy* adalah dapat memberikan performa kontrol yang memiliki nilai *settling time* lebih cepat tanpa adanya *overshoot* dan osilasi agar kontrol dapat bekerja dengan maksimal dan motor DC dapat bergerak dengan stabil.

II. LANDASAN TEORI

A. Motor DC

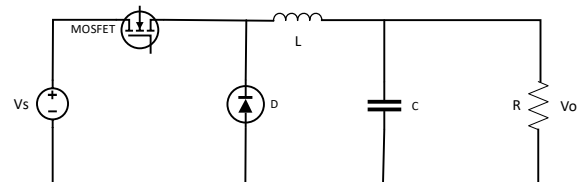
Motor DC adalah suatu perangkat yang mengubah energi listrik menjadi energi kinetik atau gerakan (*motion*). Motor DC ini juga dapat disebut sebagai Motor Arus Searah. Motor DC menghasilkan sejumlah putaran per menit atau biasanya dikenal dengan istilah RPM (*Revolutions per minute*) dan dapat dibuat berputar searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam, apabila polaritas listrik yang diberikan pada motor DC tersebut dibalik.

Prinsip kerja motor DC menggunakan fenomena elektromagnet untuk bergerak. Ketika arus listrik diberikan ke kumparan, permukaan kumparan yang bersifat utara akan bergerak menghadap ke magnet yang ber kutub selatan dan kumparan yang bersifat selatan akan bergerak menghadap ke utara magnet. Saat kutub utara kumparan bertemu dengan kutub selatan magnet ataupun kutub selatan kumparan bertemu dengan kutub utara magnet, maka akan terjadi saling tarik menarik yang menyebabkan pergerakan kumparan berhenti.

B. Buck Converter

Buck Converter merupakan penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. rangkaian ini terdiri terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET), satu

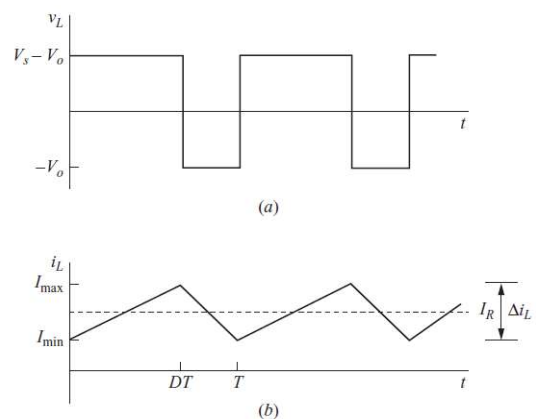
saklar pasif (diode), kapasitor dan induktor sebagai tapi keluarannya. Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif (dioda) sering diganti dengan saklar aktif (MOSFET) sehingga susut daya pada saklar bisa dikurangi. Apabila menggunakan 2 saklar aktif, kedua saklar ini akan bekerja secara bergantian, dan hanya



ada satu saklar yang menutup setiap saat.

Gambar 1. Rangkaian *Buck Converter*

Cara kerja rangkaian buck converter terbagi menjadi 2 kondisi. Saat saklar dalam kondisi ON, maka dioda terbias mundur sehingga arus induktor mengalir menuju beban dan menjadikan tegangan induktor bernilai positif. Karena perubahan arus adalah konstan positif, maka arus naik secara linier. Saat saklar dalam kondisi OFF, maka dioda menjadi bias maju yang menyebabkan arus induktor akan mengalir ke sisi beban



Gambar 2. Gelombang tegangan induktor dan arus induktor

C. Kontrol Fuzzy

Konsep teori *fuzzy* yang pertama kali diperkenalkan oleh L.A. Zadeh pada tahun 1965 berupa teori Himpunan *Fuzzy* (*Fuzzy Set*). Pada himpunan klasik, nilai keanggotaan bersifat jelas artinya masuk dalam anggota (bernilai 1) atau tidak (bernilai 0). Suatu elemen dalam sebuah semesta untuk himpunan *fuzzy* sifat keanggotaannya samar. Himpunan *fuzzy* berisi

elemen-elemen yang mempunyai nilai keanggotaan yang bervariasi dalam suatu himpunan. Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy*, yaitu:

1. Variabel *fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*. Contoh: umur, temperatur, permintaan, dsb.

2. Himpunan *fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*.

3. Semesta pembicaraan

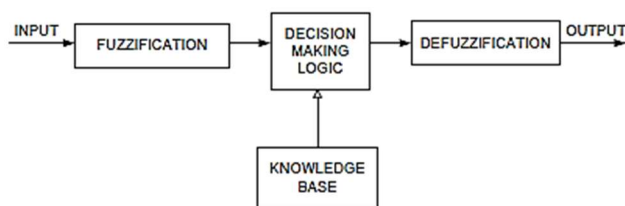
Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*.

4. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.

Berbeda dengan sistem kontrol biasa, harga yang dihasilkan didefinisikan secara pasti atau dengan istilah lain hanya *logic* 0 dan 1. Pada sistem logika *fuzzy* kontrol yang bekerja antara 0 dan 1 dapat didefinisikan, sehingga kontroler dapat bekerja seperti sistem saraf manusia yang bisa merasakan lingkungan eksternal yaitu kurang, agak, biasa, sangat atau bahkan pengaburan.

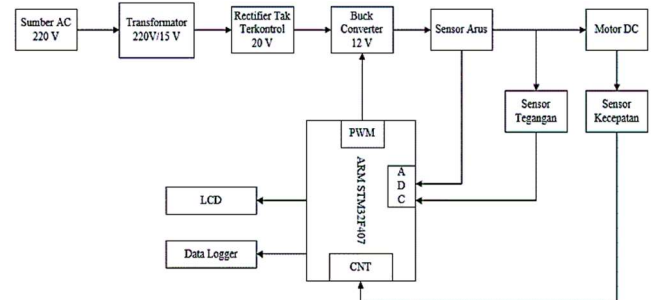
Dalam perancangan kontroler yang berbasis *fuzzy* mempunyai beberapa tahap sebelum ke *plant*. Tahapan-tahapan tersebut yaitu *fuzzyfikasi*, penentuan *rule base* beserta *data base* kemudian *defuzzyfikasi*.



Gambar 3. Struktur Umum *Fuzzy Controller*

III. METODE PENELITIAN

Tahap pertama dalam penelitian adalah perencanaan sistem, dalam tahap ini adalah berupa pembuatan blok diagram. Untuk blok diagram yang digunakan adalah seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Secara Umum

Pada gambar menjelaskan bahwa tegangan sumber berupa tegangan AC sebesar 220 Volt diturunkan menjadi 15 Volt menggunakan trafo step down. Tegangan AC sebesar 15 Volt diubah menjadi tegangan DC sebesar 20 Volt menggunakan *full wave rectifier uncontrolled* yang ditambahkan kapasitor. Tegangan output yang dihasilkan *rectifier* akan menjadi sumber dari *buck converter*. Rangkaian *buck converter* berfungsi sebagai regulator tegangan yang menghasilkan tegangan konstan sebesar 12 Volt yang digunakan sebagai tegangan input pada motor DC 12 Volt.

Untuk jenis kontrol yang digunakan adalah kontrol logika *fuzzy* yang akan dibandingkan dengan kontrol PI yang menggunakan 4 metode berupa metode analitik, *chien servo 1*, *chien regulator 1*, dan *ziegler nichole*. Berdasarkan blok diagram diatas perencanaan dan pembuatan sistem pada proyek akhir ini meliputi :

1. Pengujian respon kecepatan pada motor dc.
2. Perencanaan dan pembuatan program kontrol *fuzzy*

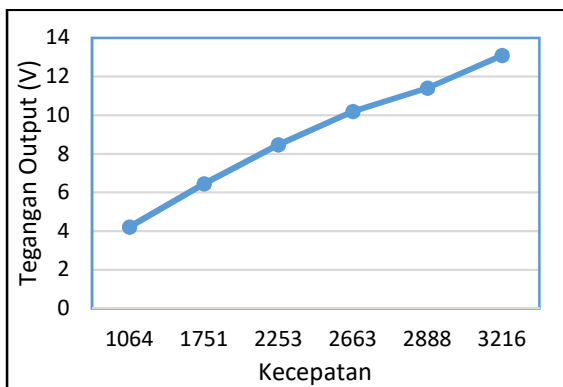
A. Pengujian Respon Kecepatan Motor DC

Pada tabel 1 merupakan hasil pengujian respon kecepatan motor dc dengan menggunakan tegangan input dari *buck converter*. Dimana hasil dari respon kecepatan ini digunakan sebagai perancangan pada kontrol *fuzzy*.

Tabel 1. Data *Open Loop Motor DC*

D	Vout (V)	Vop (V)	RPM
20	3,96	4,22	1064
30	5,82	6,46	1751
40	7,6	8,48	2253
50	9,4	10,2	2663
60	11,22	11,4	2888
70	13,16	13,1	3216

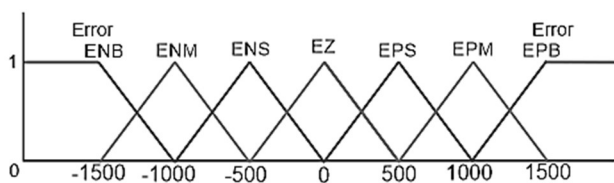
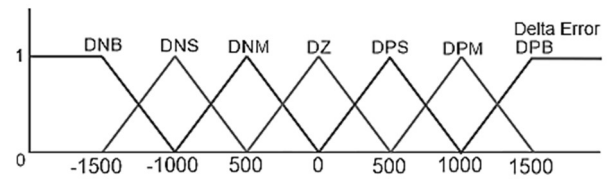
Dari tabel diatas, dapat diperoleh grafik hasil pengujian sebagai berikut.

Gambar 5. Grafik *Open Loop Motor DC*

B. Perancangan Kontrol fuzzy

Perencanaan dan pembuatan program kontrol fuzzy dilakukan agar mendapatkan kemudahan dalam membuat program *close loop*. Sesuai pada penjelasan bab II sub-bab *fuzzy logic control*, pembuatan *fuzzy logic control* membutuhkan penentuan tahapan sebagai berikut :

1. Penentuan berapa *input* yang akan diolah pada *inference sistem fuzzy*.
2. Menentukan batasan pada *membership function* pada *input* yang ditentukan.

Gambar 6. Grafik *Membership Function Error*Gambar 7. Grafik *Membership Function Delta Error*

3. Menentukan *set point* dan *present value* untuk pembacaan yang akan diolah pada proses *fuzzyfikasi*.
4. Menentukan *rule base* dan metode *rule base*.

Tabel 2. Perencanaan *Rule Base Fuzzy*

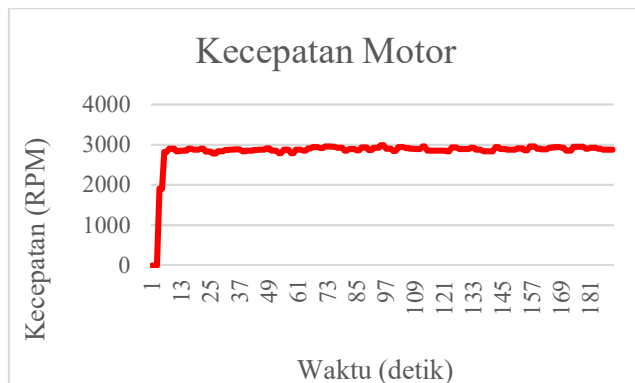
E/ΔE	DNB	DNM	DNS	DZ	DPS	DPM	DPB
ENB	NH	NH	NH	NB	NM	NS	Z
ENM	NH	NH	NB	NM	NS	Z	PS
ENS	NH	NB	NM	NS	Z	PS	PM
EZ	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
EPS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PH
EPM	NS	Z	PS	PM	PB	PH	PH
EPB	Z	PS	PM	PB	PH	PH	PH

5. Menghitung nilai *defuzzyfikasi* sebagai keluaran. Pada *rule base* dapat menghasilkan *crisp* yang akan masuk pada tahap *defuzzyfikasi*. *Defuzzyfikasi* harus ditentukan pemilihan metode untuk mengeluarkan hasil perhitungan pada *rule base*. Pada program ini hasil *rule base* ditentukan menggunakan *weighted average metode*. Hasil dari metode ini merupakan *defuzzy*. Hasil dari *defuzzy* ini dibatasi dengan nilai yang diinginkan, pada program ini direncanakan batasan maksimal hasil *defuzzy* tidak lebih dari 12 dan batasan minimal adalah 0. Hasil *defuzzy* ini akan dikonfersi menjadi pengaturan PWM pada program sehingga dapat mengatur proses *switching* mosfet dan dapat mengatur kecepatan motor DC.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Integrasi pada Hardware

Pengujian pada *hardware* dilakukan dengan melakukan pemrograman kontrol *fuzzy* pada ARMSTM32F4. Dari pemrograman tersebut, *fuzzy* yang digunakan menggunakan 12 *rule base*. Untuk nilai *set point* pada kecepatan motor dc adalah sebesar 3000 rpm. Data perngujian yang dibaca melalui layar LCD adalah data nilai adc tegangan (adcV), nilai adc arus (adcI), nilai tegangan *output* (Vout), nilai arus *output* (Iout), nilai PWM dan kecepatan motor (rpm). Data yang telah terbaca melalui lcd selanjutnya dikirimkan melalui *bluetooth* agar mengetahui grafik kecepatan dari setiap pembacaan. Data mengalami perubahan pembacaan setiap 1 detik. Berikut ini data hasil pembacaan pada *bluetooth* HC-05 menggunakan software Telemetry Viewer.



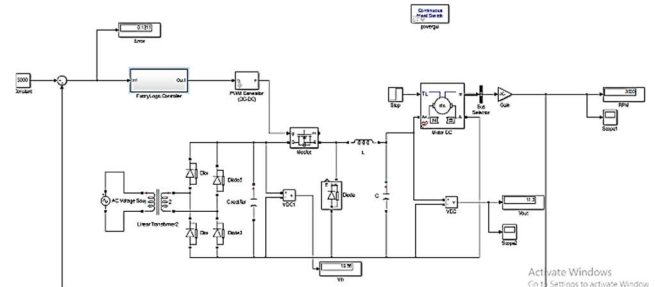
Gambar 8. Grafik Kecepatan Motor DC disertai Kontrol Fuzzy pada Pengujian Hardware

Untuk grafik kecepatan motor dc, dapat dilihat pada kondisi awal kecepatan motor senilai 0 rpm dan mengalami kenaikan hingga berada konstan pada kecepatan sebesar 2945 rpm. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa kontrol *fuzzy* telah bekerja mendekati nilai *set point* sebesar 3000 rpm.

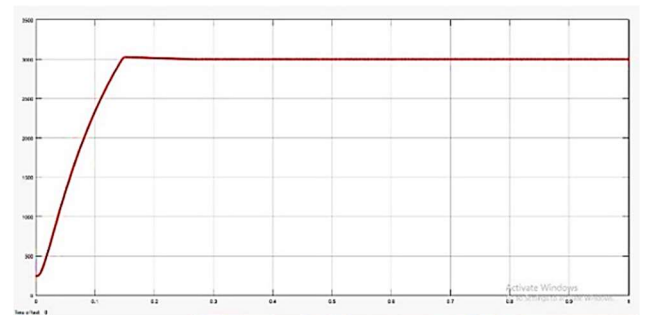
B. Simulasi Kontrol fuzzy pada Simulink Matlab

Sistem dengan kontrol *fuzzy* bertujuan agar sistem yang terdapat dalam rangkaian tetap dalam keadaan stabil. Dalam sistem ini juga memiliki tujuan agar kecepatan motor dc dapat sesuai dengan *set point* yang diharapkan. Untuk rangkaian sistem dengan kontrol

dapat dilihat pada Gambar 9 dan grafik respon motor DC dengan kontrol dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Rangkaian Simulasi Sistem Kontrol Fuzzy dengan Simulink Matlab

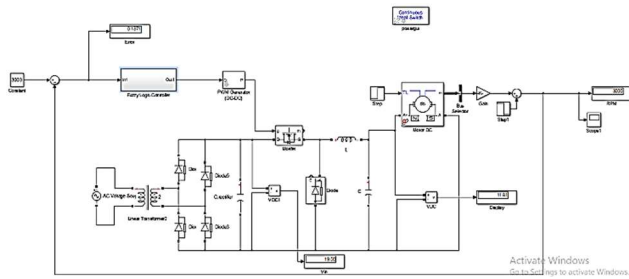


Gambar 10. Grafik Kecepatan motor DC disertai Kontrol Fuzzy melalui Simulasi Simulink Matlab

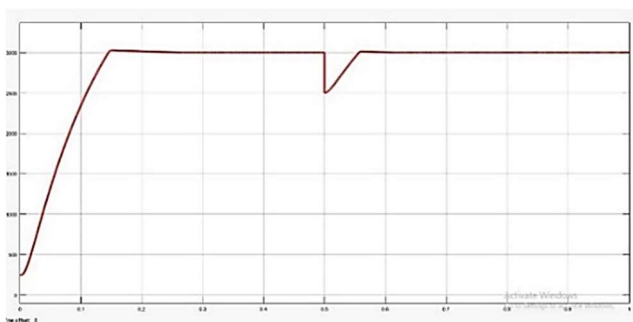
Dari grafik sistem yang disertai kontrol menghasilkan nilai *rise time* = 0,085 detik dan nilai *settling time* = 0,2 detik. Saat sistem disertai kontrol, maka kecepatan motor DC sesuai dengan nilai *set point* yang diharapkan yaitu kecepatan 3000 rpm dan tegangan yang terbaca sebesar 11,3 Volt.

C. Simulasi Kontrol fuzzy pada Simulink Matlab dan Disertai Gangguan

Rangkaian sistem dengan kontrol yang disertai gangguan bertujuan untuk mengetahui grafik kecepatan motor DC saat diberi gangguan dapat kembali ke keadaan semula atau tidak. Jika kecepatan tidak dapat kembali, maka kontrol *fuzzy* tidak bekerja. Untuk gambar rangkaian dari sistem dengan kontrol *fuzzy* yang disertai gangguan dapat dilihat dari gambar 11 dan grafik respon motor DC dapat dilihat dari Gambar 12.



Gambar 11. Rangkaian Simulasi Sistem dengan Kontrol Fuzzy disertai Gangguan menggunakan Simulink Matlab



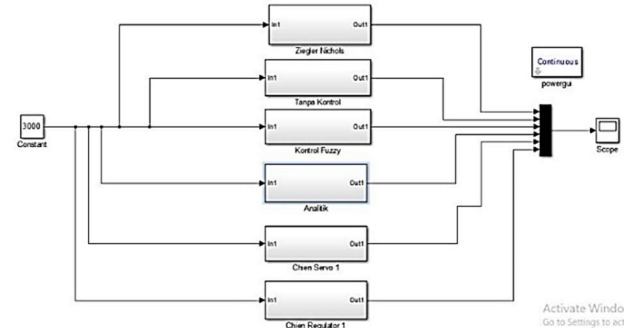
Gambar 12. Grafik Kecepatan Motor DC dengan Kontrol Fuzzy disertai Gangguan menggunakan Simulasi Simulink Matlab

Dari grafik respon motor DC dengan kontrol fuzzy yang disertai gangguan, dapat dilihat nilai *rise time* = 0,085 detik dan nilai *settling time* = 0,2 detik. Saat 0,5 detik motor diberi gangguan, nilai rpm motor mengalami penurunan dari 3000 rpm menjadi 2500 rpm. Namun saat 0,55 detik, kecepatan motor kembali pada keadaan stabil sebesar 3000 rpm dan nilai tegangan yang terbaca adalah 11,8 Volt.

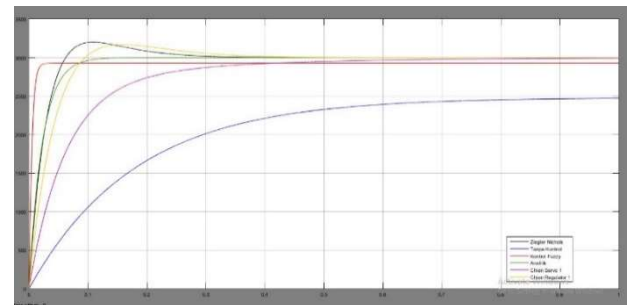
D. Perbandingan Hasil Respon Motor DC antara Kontrol Fuzzy dengan Kontrol PI 4 Metode (Analitik, Chien Servo 1, Chien Regulator 1 dan Ziegler Nichols) dengan Menggunakan Simulink Matlab

Untuk memperoleh hasil respon motor DC dengan beberapa kontrol, maka bentuk rangkaian dirubah berupa permodelan *transfer function*. Dalam rangkaian *transfer function* parameter dari setiap kontrol dimasukkan sesuai perhitungan untuk kontrol PI dan untuk kontrol fuzzy dimasukkan sesuai dengan parameter saat rangkaian *close loop*. Bentuk rangkaian permodelan dapat dilihat pada gambar 13 dan hasil

respon serta perbandingan tiap kontrol dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13. Rangkaian Transfer Function dari Beberapa Kontrol menggunakan Simulink Matlab



Gambar 14. Grafik Kecepatan dari Beberapa Kontrol dalam Rangkaian Transfer Function

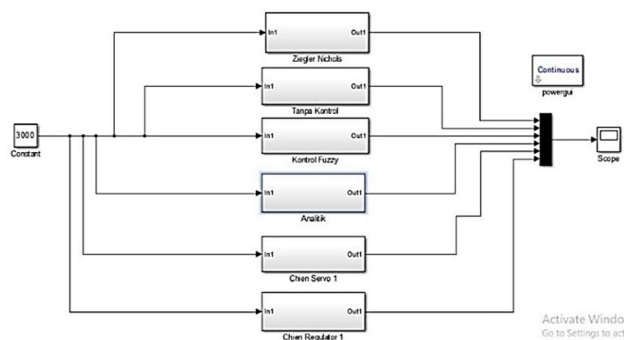
Tabel 3. Hasil Perbandingan Kontrol Fuzzy dan PI 4 Metode menggunakan Simulink Matlab

Metode Kontrol	Setpoint (RPM)	Steady State (RPM)	Rise Time (detik)	Settling Time (detik)	Error Steady State (%)
Tanpa Kontrol	3000	2400	0,09	1	20
Analitik	3000	3000	0,04	0,14	0
Chien Servo 1	3000	3000	0,06	0,8	0
Chien Regulator 1	3000	3000	0,05	0,5	0
Ziegler Nichols	3000	3000	0,04	0,4	0
Fuzzy	3000	2900	0,015	0,025	3,3333

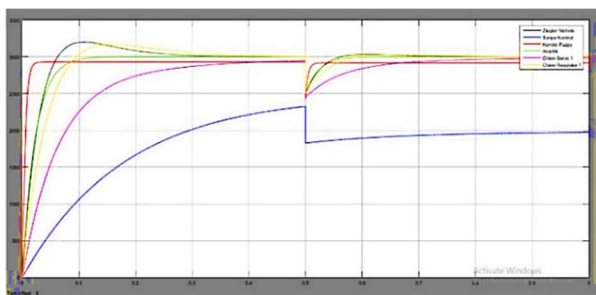
Dari grafik dan tabel dapat dilihat bahwa untuk kontrol yang memiliki respon paling cepat dalam kondisi stabil adalah kontrol *fuzzy*, karena telah stabil saat waktu 0,025 detik dengan kecepatan *fuzzy* stabil sebesar 2900 rpm.

E. Perbandingan Hasil Respon Motor DC antara Kontrol Fuzzy dengan Kontrol PI 4 Metode (Analitik, Chien Servo 1, Chien Regulator 1 dan Ziegler Nichols) yang disertai Pemberian Gangguan dengan Menggunakan Simulink Matlab

Penambahan gangguan pada rangkaian bertujuan untuk mengetahui apakah kontrol dalam keadaan stabil ataupun kontrol tealh bekerja. Hasil dari rangkaian kontrol dapat dilihat pada Gambar 15 dan gambar grafik dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 15. Rangkaian Transfer Function dari Beberapa Kontrol disertai dengan Gangguan



Gambar 16. Grafik Kecepatan dari Beberapa Kontrol dalam Rangkaian Transfer Function menggunakan Simulink Matlab

Tabel 4. Hasil Perbandingan Kontrol Fuzzy dan PI 4 Metode menggunakan Simulink Matlab disertai Gangguan

Metode Kontrol	Sebelum Gangguan (RPM)	Setelah Gangguan (RPM)	Waktu jeda kembali Stabil (detik)	Error Steady State (%)
Tanpa Kontrol	2400	2000	tidak stabil	16,66667
Analitik	3000	3000	0,15	0
Chien Servo 1	3000	3000	0,5	0
Chien Regulator 1	3000	3000	0,2	0
Ziegler Nichols	3000	3000	0,25	0
Fuzzy	2900	2900	0,03	0

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa respon yang paling cepat kembali pada kondisi stabil setelah diberi gangguan adalah pada kontrol *fuzzy*. Kontrol *fuzzy* memiliki waktu kembali dalam keadaan stabil setelah 0,03 detik gangguan berjalan dan kecepatan kembali stabil pada nilai sebesar 2900 rpm.

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan berbagai tahapan proses dalam penelitian ini guna mencapai tujuan yang dituliskan pada perumusan masalah dengan melakukan perencanaan, pembuatan, pengujian alat dan pembahasan antara teori dan praktek dapat disimpulkan bahwa perbandingan antara beberapa kontrol PI yang menggunakan 4 metode (Analitik, Chien Servo 1, Chien Regulator 1 dan Ziegler Nichols) dengan kontrol *fuzzy* maka diperoleh hasil bahwa kontrol *fuzzy* memiliki performa respon lebih cepat 0,03 detik setelah diberi gangguan. Serta pada kontrol *fuzzy* menghasilkan nilai *rise time* sebesar 0,015 detik, nilai *settling time* sebesar 0,025 detik serta terdapat *error steady state* sebesar 3,33% dengan kecepatan motor dc sebesar 2900 rpm tanpa adanya overshoot dan osilasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mohamad Nadif, Suryono. (2015). Aplikasi *Fuzzy Logic* untuk Pengendali Motor DC Berbasis Mikrokontroler ATmega8535 dengan Sensor Photodiode. *Jurnal Teknik Elektro Vol. 7 No. 2*.
- [2] Qory Hidayati, Mikail Eko Prasetyo. (2016). Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Menggunakan Mikrokontroler Berbasis *Fuzzy-PID*. *Jurnal Teknologi Terpadu Vol 4 No.1*.
- [3] Bobby Fisher Butar Butar. (2015). Pemodelan dan Kendali *Fuzzy* pada DC Drive. *SETRUM Volume 4 No. 1*.
- [4] Pahrudin Hasibuan, Muhammad Ashari, Soebagio. (2007). Kendali Kecepatan Motor DC Shunt dengan Kontrol *fuzzy* dan *Fuzzy Current Limiter*. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2007 (SNATI 2007)*.
- [5] M. Muruganandam, M. Madheswaran. (2009). Modeling and simulation of modified kontrol *fuzzy* for various types of DC motor drives. *IEEE*.
- [6] Faisal Wahab, Arif Sumardiono, Adnan Rafi Al Tahtawi, Agus Faisal Aziz Mulayari. (2017). Desain dan Purwarupa Kontrol *fuzzy* untuk Pengendalian Suhu Ruangan. *Jurnal Teknologi Rekayasa, Vol. 2, No. 1, Juni 2017, Hal. 1-8*.
- [7] Hendri D. Putra, Matias K. Kelviandy, Bintang E. Putera. (2018). Penerapan Kontrol *Fuzzy Logic* Berbasis Matlab Pada Perangkat Mesin Cuci. *Jurnal Multinetics Vol. 4 No. 2*.
- [8] Helmy Mukti Himawan, Onny Setyawati, Hadi Suyono. (2016). Pemodelan Kontrol *fuzzy* untuk Pengendali PWM pada Buck Converter. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Vol. 5 No. 1*.
- [9] Hendro Rosyidi Setiyawan, Widyono Hadi, Triwahju Hardianto. (2017). Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* pada Generator DC Penguatan Terpisah Berbasis Arduino UNO R3. *Berkala Sainstek Vol. 1, Hal 55-60*.
- [10] Sri Kusumadewi dan Hari Purnomo. Aplikasi Logika *Fuzzy* untuk Pendukung Keputusan. 2010.
- [11] Zhanggishan dan Zuhail. Prinsip Prinsip Dasar Elektroteknik. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama. 2004.